レールガン　進化する電源技術

民生技術の導入で

目指せパルスパワーイノベーション

防衛装備庁　陸上装備研究所

弾道技術研究部　火力・防護力評価研究室

本日の説明内容

1　レールガンの概要

2　レールガン研究の近況

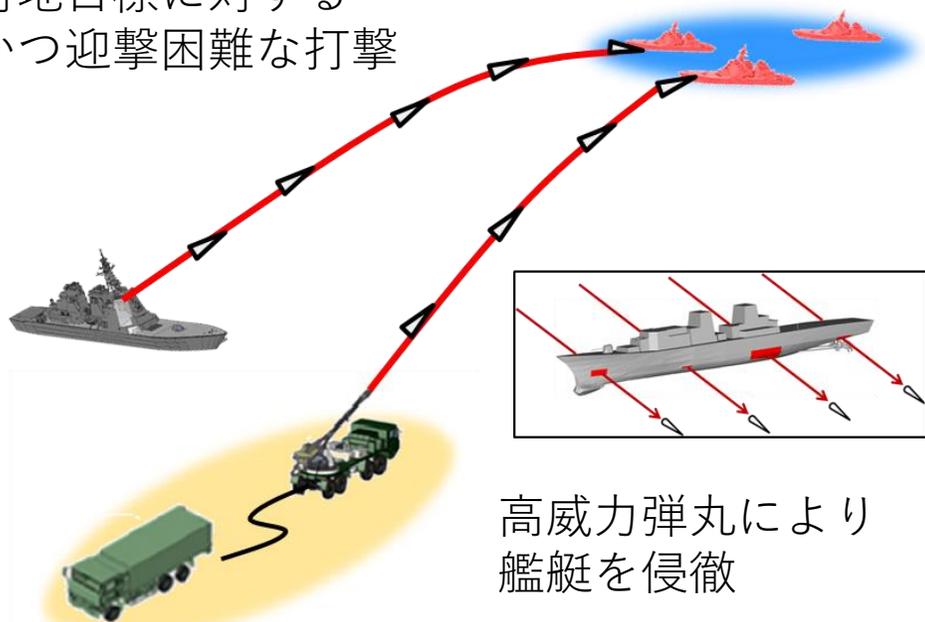
3　レールガンの電源

4　民生技術の活用検討例

1 レールガンの概要

レールガンについて

レールガン（Railgun）

- ✓ 電気エネルギーを利用して弾丸を発射する将来砲
- ✓ 火薬を用いた従来砲に比し、原理的に弾丸初速を大幅に増大可
- ✓ 現在レールガンを運用している国はない（米・欧・中などは開発中）

陸上装備研究所の保有する試作レールガン

レールガンについて

レールガン（Railgun）

✓ 電流と磁場によるローレンツ力を使用

ローレンツ力

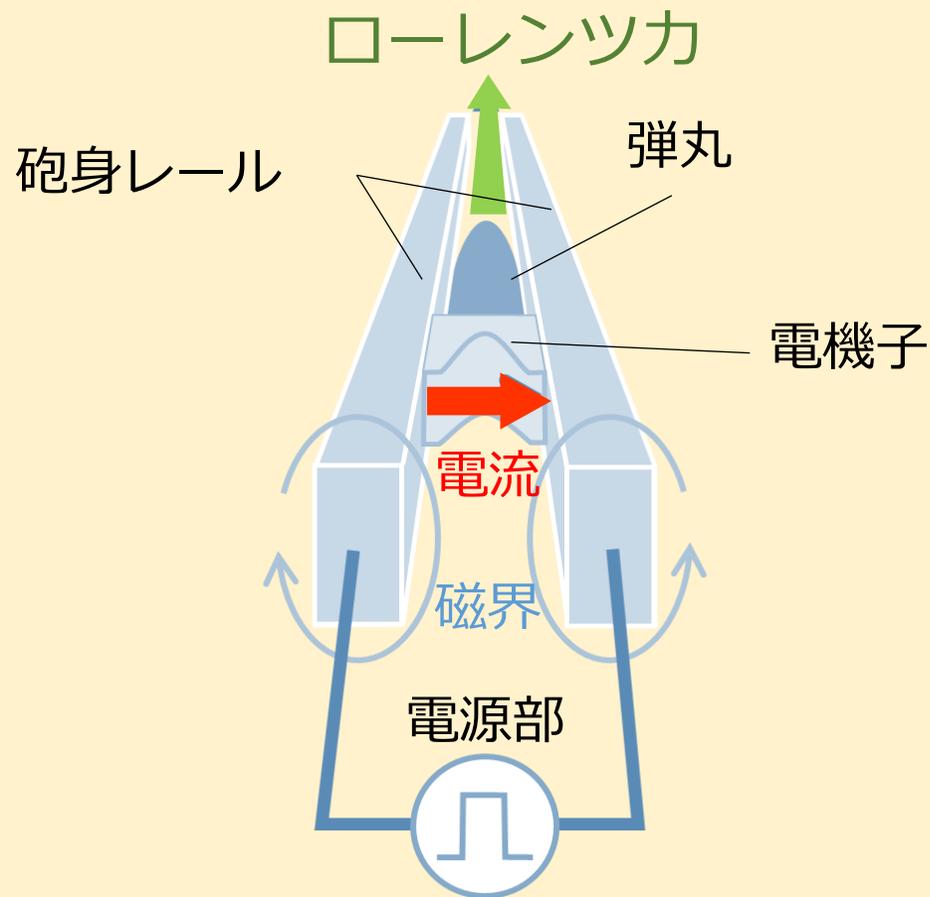
砲身レール

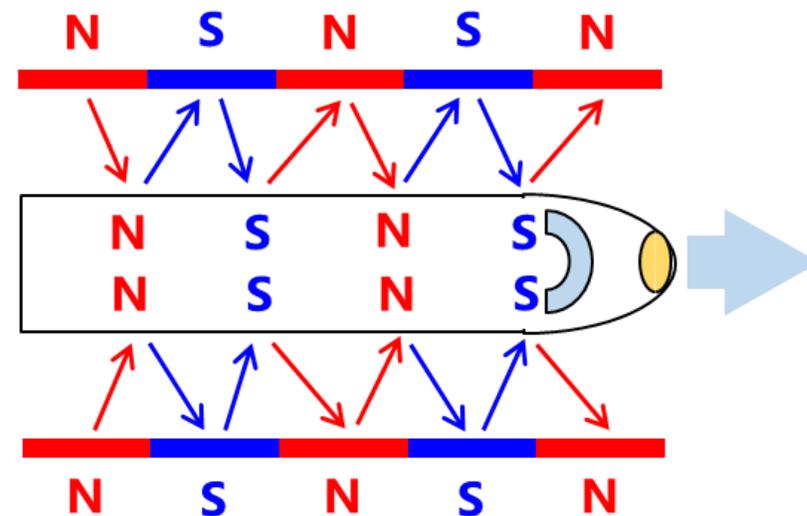
弾丸

電機子

電流

磁界

電源部

リニアモーターカー（Linear motor car）

✓ 磁力による吸引・反発を使用

レールガンの特長

1 極超音速で弾丸を発射

弾丸初速

- レールガン：2,500m/s 以上も可能
- 従来戦車砲：1,750m/s (約Mach5) [1]

この結果、

- 弾丸の威力が大きい
- 最大射程が長い（スタンド・オフ火力）
- 目標到達時間が短いことから目標命中率が高く、かつ、交戦機会が増える

2 射撃諸元を可変

電気エネルギーであることから、

- 弾丸初速を変えられる（射程・威力などが調整可能）
- 装填深度を変えられる（エロージョン低減に寄与）

3 探知・迎撃されにくい

- 弾丸サイズの割に、超音速飛翔を行えるため、探知・迎撃が難しい

[1] Charles Q Cutchaw and Leland Ness, " Jane's AMMUNITION HANDBOOK 2002-2003 DM53", Jane's Information Group, p.226, 2002. 現有火砲の中でも高速な砲弾である独の120mm翼安定徹甲弾DM53の弾丸初速

2 レールガン研究の近況

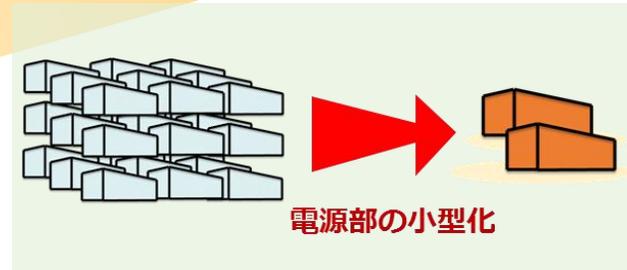
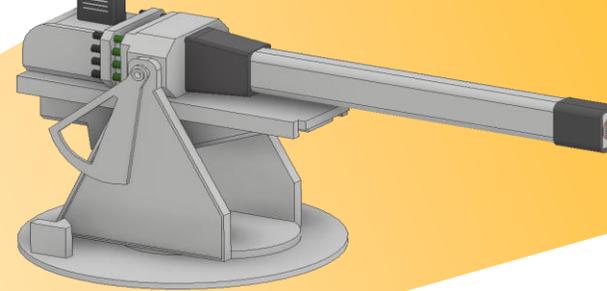
レールガン研究の流れ

砲内弾道

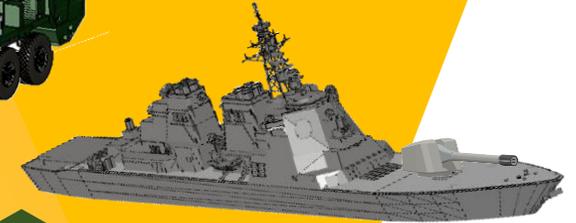
- 砲身耐久性120発以上
- 初速2,000m/s以上

単射

砲内・砲外・終末弾道

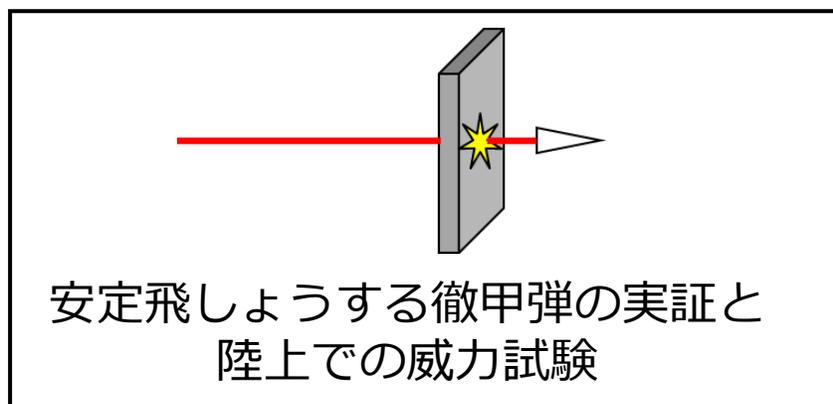
- 連射機構
- 砲外の飛しょう安定
- 射撃管制
- 威力

連射

プラットフォームごとに合わせた装備品の研究開発

オンボード射撃

電源部の小型化

民生の力も最大限活用

射撃試験の実施（令和5年9～10月）

標的に対し**徹甲弾による射撃**を行い、**飛しょう安定性**、および構造物に対する徹甲弾の**破壊効果**について確認した。

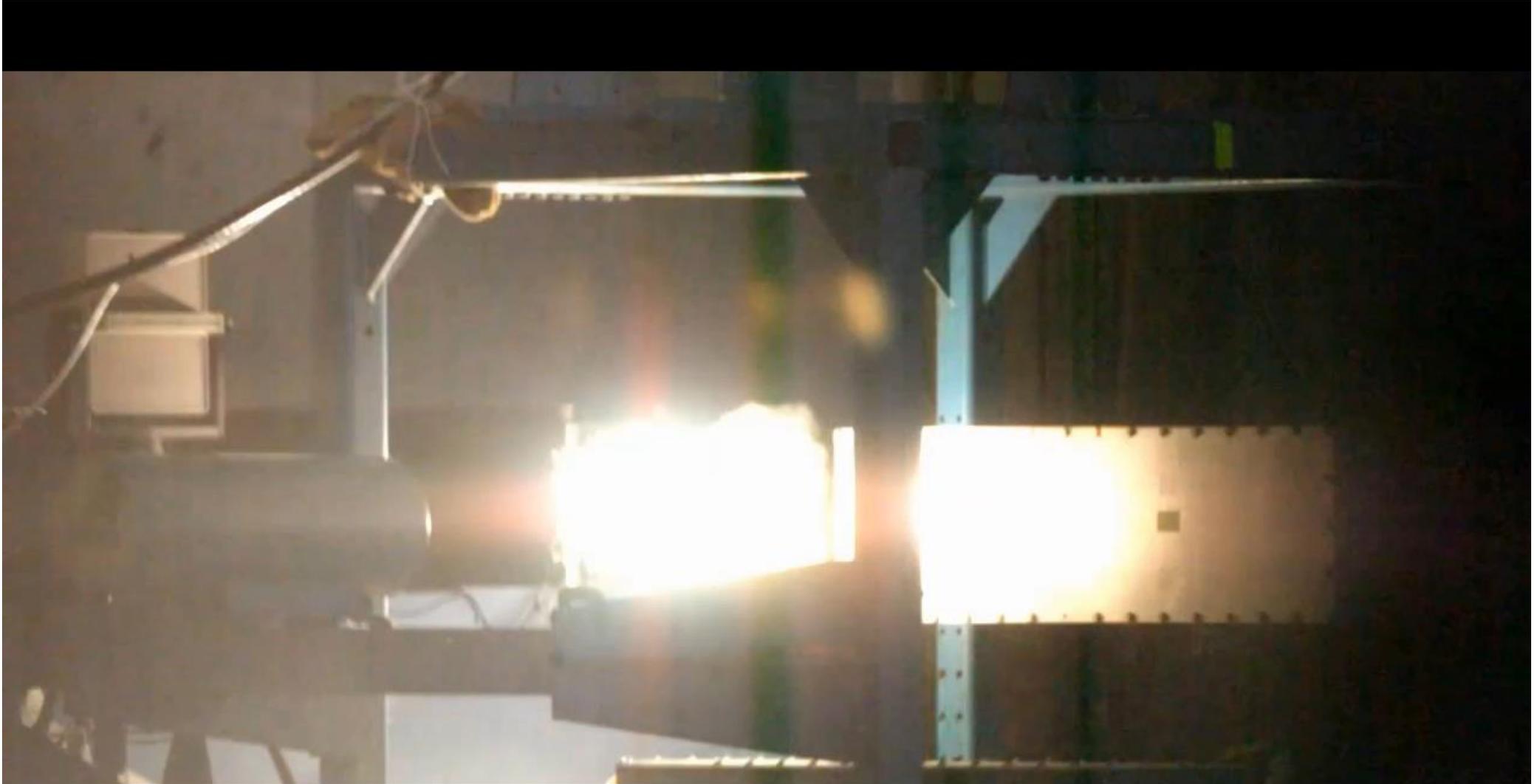
射撃試験

【シミュレーションの精緻化】

【砲と弾の設計への反映】

試験弾

標的

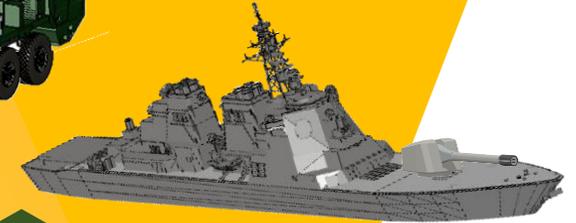
飛しょう安定

令和 5(2023)年　10月　下北試験場

③ レールガンの電源小型化について

レールガン研究の流れ（再掲）

砲内・砲外・終末弾道
- 連射機構
- 砲外の飛しょう安定
- 射撃管制
- 威力

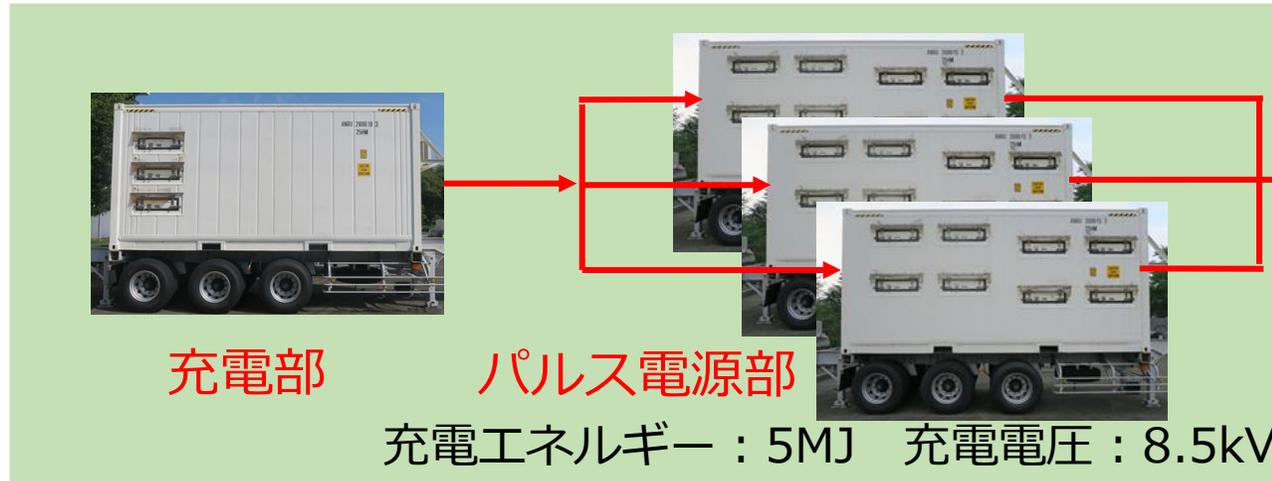
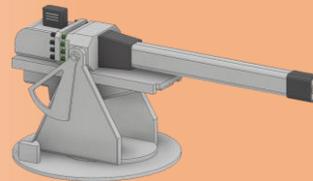
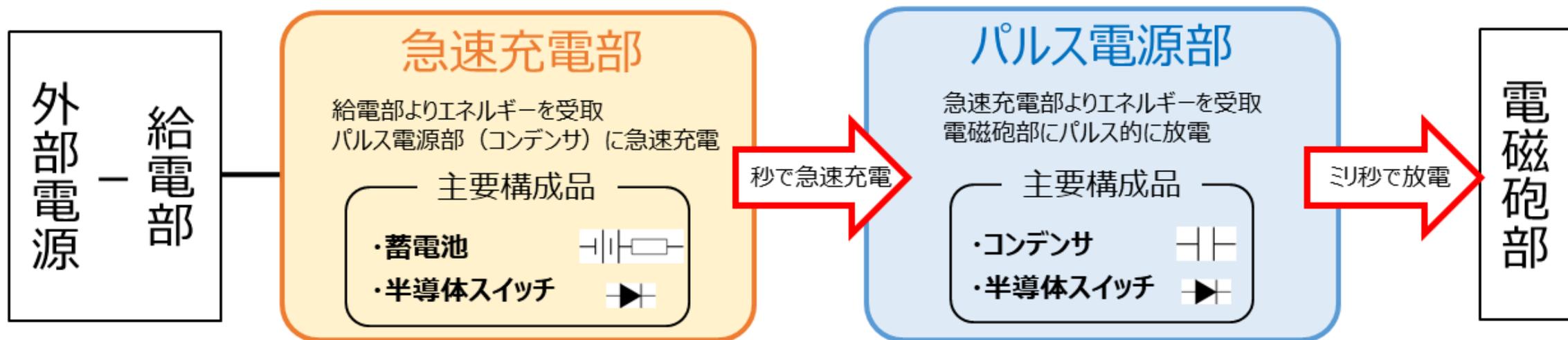
プラットフォームごとに合わせた装備品の研究開発

砲内弾道
- 砲身耐久性120発以上
- 初速2,000m/s以上

民生の力も最大限活用

電源小型化のモチベーション

レールガン電源における課題

- ✓ 搭載性　→　**小型化**
- ✓ 実戦的な運用（連射）　→　**急速充電化**

民生の先進電源技術の育成・活用

小型化の方針について

電源の各構成要素の高性能化

- ✓ 蓄電池、コンデンサーの高エネルギー密度化 → **小型化**
- ✓ 半導体スイッチの高耐圧化 → **急速充電化（高エネルギー制御）**

電源部構成要素の性能向上及びそれら技術を統合し小型化を推進

民生技術の活用検討例

民生技術の活用について

電源においては民生技術を積極的に活用

- ✓ 防衛省には複数の民生技術の育成及び活用の枠組みが存在
- ✓ それらの枠組みにより、電源小型化について早期実用化を図る

民生技術の育成及び活用の枠組み

- **安全保障技術研究推進制度**
- **先進技術の橋渡し研究**
- **ゲーム・チェンジャー※の早期実用化に資する取組**

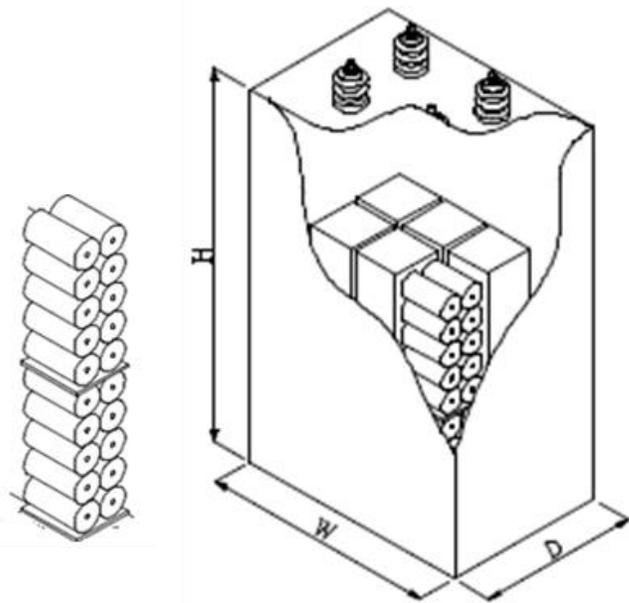
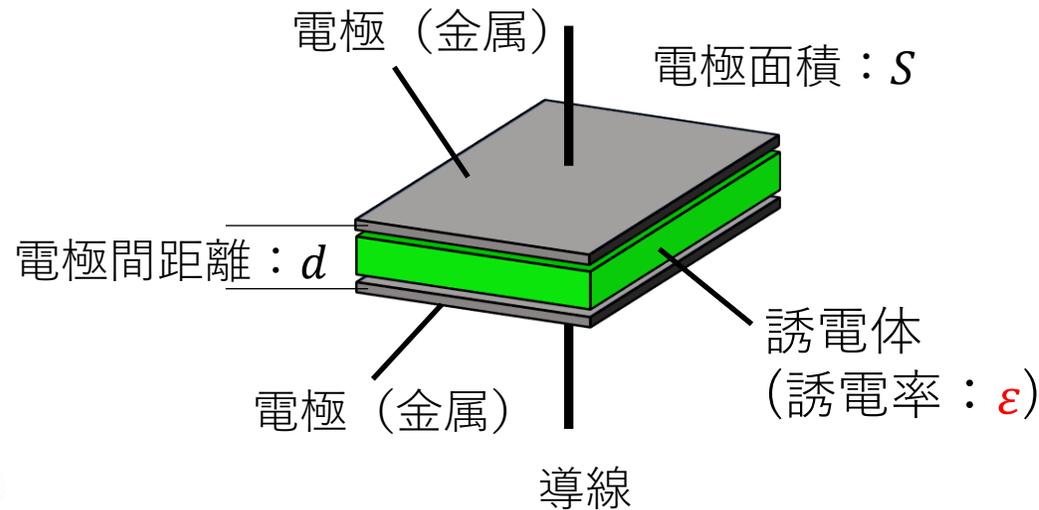
活用検討中の先進技術

- ・フレキシブルセラミック薄膜作成技術（エアロゾルデポジション法）
  ➡高エネルギー密度コンデンサ
- ・次世代パワー半導体（酸化ガリウム）デバイス化技術
  ➡高耐電圧スイッチング半導体素子
- ・先進蓄電要素技術（アルカリ蓄電池への新規材料適用）
  ➡高エネルギー密度・高出力蓄電池

※戦闘様相を一変させる可能性を持つ革新的な技術

民生技術の活用の検討例１（１/2）

新方式によるフィルムコンデンサの研究

- ✓ レールガンの電源において、パルス的な放電が可能なコンデンサは最も重要な構成品
- ✓ 電源の小型化にはコンデンサ素子の高性能化が必要
  →誘電率の高い誘電体の採用

コンデンサユニット構造　　コンデンサ構造

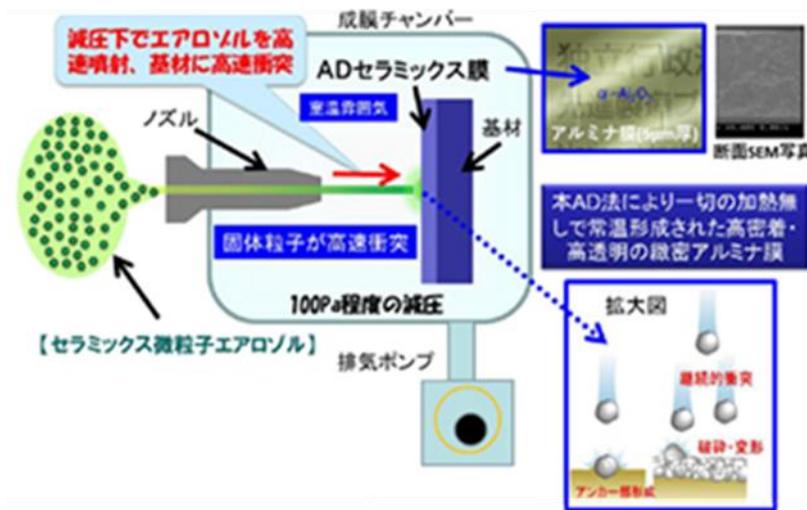
$$E = \frac{1}{2}CV^2$$

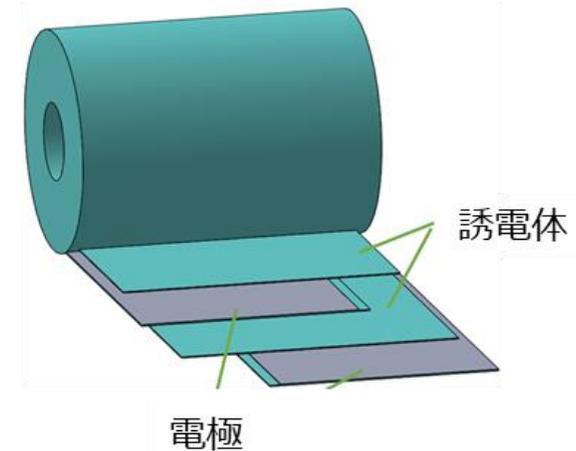
$$C = \varepsilon\frac{S}{d}$$

E：エネルギー
C：コンデンサ容量
V：電圧

民生技術の活用の検討例１（2/2）

新方式によるフィルムコンデンサの研究

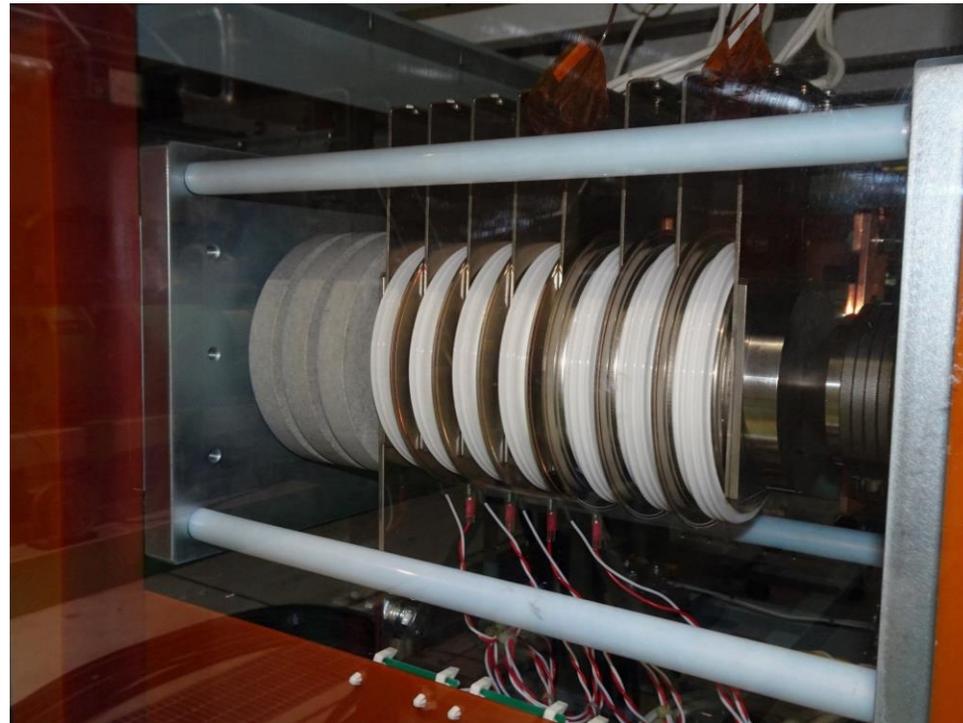
- ✓ エアロゾルデポジション法（AD法）を使用したコンデンサの製造技術を検討
  - →**従来不可能だった薄膜(セラミック)が作製可能**
- ✓ AD法により従来の樹脂フィルムより高い誘電率を持つセラミックフィルムが採用可能
  - →**数倍のエネルギー密度を達成可能な見込み**

エアロゾルデポジション法

セラミックフィルム例

コンデンサ素子

新材料を用いてレールガン用電源コンデンサの小型化を目指す

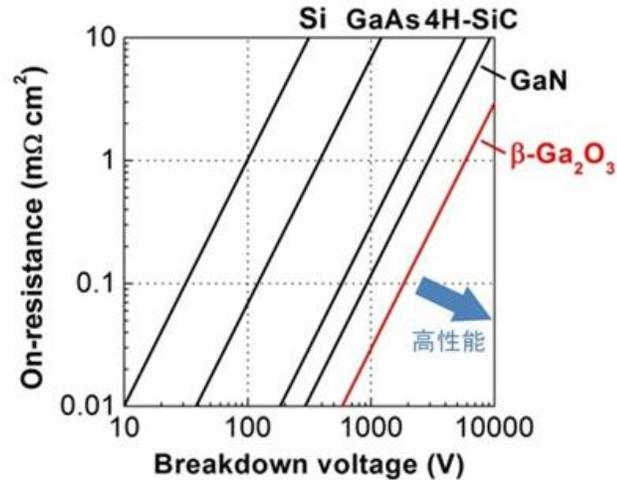
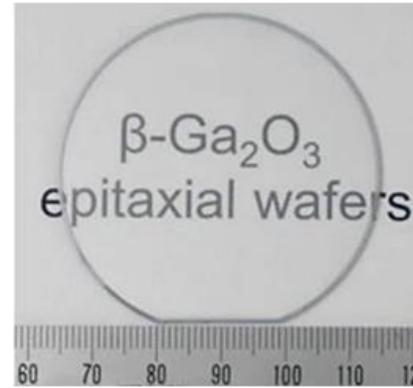
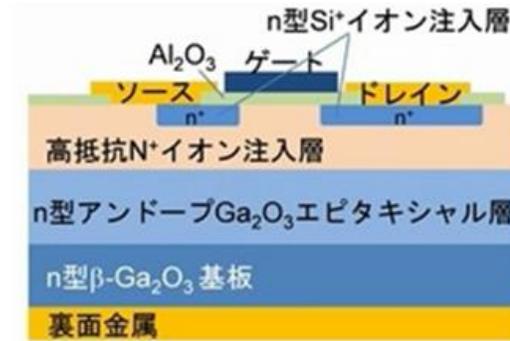
民生技術の活用の検討例２（1/2）

新材料を用いた次世代半導体デバイスの研究

- ✓ レールガンでは大電流・高電圧を扱うため、スイッチング用パワー半導体が重要
- ✓ 現在、高電圧に耐えるために、直列に複数のパワー半導体をつなげて運用中
  →回路内でパワー半導体が必要になる箇所も多く、体積増加の原因に

直列に接続したパワー半導体

民生技術の活用の検討例２（2/2）

新材料を用いた次世代半導体デバイスの研究

- ✓ 次世代パワー半導体の材料として期待される酸化ガリウムを用いた半導体デバイスの製造技術を検討
- ✓ 理論上他の材料よりも高い電圧を扱うことができ、現在より**少ない数のパワー半導体で電源の制御が可能な見込み**

半導体材料性能 [3]

酸化ガリウムウエハ [4]

デバイス構造イメージ

次世代パワー半導体で半導体の数を削減し、電源の小型化を目指す

[3]株式会社ノベルクリスタルテクノロジー．「酸化ガリウムとは」. https://www.novelcrystal.co.jp/about/, (参照2024.09.20)
[4]株式会社ノベルクリスタルテクノロジー．「Start mass production of Φ2 inch gallium oxide epitaxial wafer」. https://www.novelcrystal.co.jp/eng/2017/58/, (参照2024.09.20)

まとめ

- レールガンは電気エネルギーを用いた将来砲であり、
従来火砲を上回る初速が可能であることから、
高威力や長射程などを期待されている

- 発射後の飛しょう安定性を確認する試験を行い、
十分な飛しょう安定性を確認した

- 電源小型化への課題解決に向け電源の主要構成品である
コンデンサ・半導体スイッチ等に対して、
民生先進技術の育成及び活用の検討を進めている